

El Desarrollo y Uso de Variedades Compuestas, Basado en la Mezcla de Líneas Fenotípicamente Similares Desarrolladas a través de Cruzas Regresivas.

Norman E. Borlaug

Durante los últimos diez años la producción de trigo en México ha aumentado en forma sumamente rápida. Sin considerar algunos disturbios climatológicos impredecibles, tales como extensas heladas. La cosecha de 1956 podrá satisfacer el consumo nacional. La producción nacional ha subido de 500,000 toneladas en 1950 a 1,100,000 estimadas para 1956<sup>(1)</sup>. Durante este tiempo el rendimiento promedio nacional por hectárea ha aumentado de 750 kilos en 1950 a 1250 kilos por hectárea para la cosecha actual.

El desarrollo y distribución de variedades bien adaptadas, de alto rendimiento y resistentes a la roya, ha sido el factor catalítico más importante para alcanzar esta notable revolución en la producción de trigo. Las nuevas variedades han constituido la "póliza de seguros de cosecha", necesaria para mover los otros tres factores principales, los cuales, cada uno en forma diferente, han contribuido a solucionar el problema triguero de México, a saber: 1) la apertura de grandes extensiones de nuevas tierras de riego adecuadas para el cultivo de trigo, especialmente en los Estados de Sonora y Sinaloa; 2) un renovado interés y aumentos considerables en la zona dedicada a este cultivo en la región del Bajío y los valles de la Mesa Central, los cuales han resultado del aumento espectacular en rendimiento en aquellas "tierras viejas". (El cultivo de trigo era antieconómico en esta región hasta la introducción, en 1950, de nuevos métodos, como el uso de fertilizantes y variedades mejoradas); y 3) aun cuando de menor importancia que los dos factores ya citados, el establecimiento del trigo como "siembra de temporal" (cultivo sin riego artificial durante la estación de lluvias). Anteriormente, con variedades criollas ("nativas") susceptibles a la roya, resultaba imposible cultivar trigo en esta época del año, debido a las fuertes pérdidas ocasionadas por la roya del tallo. Aun cuando la zona total cultivada durante la época de lluvias es todavía pequeña, su potencialidad es grande y puede aún crecer a medida que se desarrolla una mayor demanda nacional.

Actualmente el trigo se cultiva principalmente como cultivo de riego durante la época seca de invierno. Todas las variedades son de hábito primaveral, pero se cultivan de siembras de otoño hechas de noviembre a enero, dependiendo de la altura y latitud. Este cultivo abarca en el norte desde las fronteras de California y Texas hasta los valles altos de Chiapas cercanos a la frontera de Guatemala, al sur. Se

---

(1) La producción de 1956 alcanzó 1,300,000 toneladas con un rendimiento promedio de 1370 kilos por hectárea.

le cultiva desde casi el nivel del mar en Sonora y Sinaloa, hasta elevaciones de 3000 metros en algunos de los valles altos de la parte central de la República.

Hace diez años, (con excepción de Sonora) el trigo se cultivaba con prácticas primitivas. Casi toda la preparación del suelo, siembra y cosecha, se hacían con equipo de tracción animal, y aun a mano. La nivelación de las tierras, una operación esencial para obtener altos rendimientos con riego, era casi desconocida. En la actualidad casi toda la preparación de los suelos en la República se hace mecánicamente, la nivelación es prácticamente de uso común, y casi todos los agricultores emplean sembradoras mecánicas.

En 1950 casi no existía la fertilización química, en tanto que en la actualidad existen pocos agricultores, con excepción de aquellos que siembran "tierras nuevas", que no empleen fertilizantes para su trigo. Durante este período, en lugar de la cosecha a mano se han venido usando combinadas de auto-propulsión.

Las principales enfermedades del trigo en México son las royas: del tallo, lineal y de la hoja, en orden de importancia. La roya del tallo es desde luego la más peligrosa, puesto que puede, y suele convertirse en epidemia en todas las alturas en que se cultiva el trigo. Las condiciones climatológicas son tales que el organismo persiste en su estado uredinial durante todo el año, en alturas de 1700 metros o más. Esto dá por resultado un rápido aumento de inóculo cuando las condiciones climatológicas son mejores para el patógeno de la roya, y, a menos que se cultiven variedades resistentes, puede resultar una epidemia destructora. La roya lineal puede causar epidemias a elevaciones de 1700 metros o más, en algunos años en cultivos de invierno con riego, y constituye un factor limitante cada año durante las siembras de "temporal" en elevaciones de 2200 metros o más. La roya de la hoja se encuentra en todas las elevaciones, tanto en cultivos de temporal como de riego, pero hasta ahora ha sido la menos importante de las royas. El carbón apestoso fue anteriormente una enfermedad de importancia, pero una campaña de desinfección combinada con la multiplicación y distribución de nuevas variedades ha casi eliminado este problema.

Los programas de investigación y de extensión han tenido un lugar muy importante en el aumento de la producción nacional de trigo. El programa de mejoramiento ha logrado variedades precoces de alto rendimiento y resistentes a la roya del tallo, que han tomado el lugar de las variedades viejas criollas en más de un 95% de la zona triquera total. Estas nuevas variedades se adaptan mucho mejor que las variedades criollas a las nuevas prácticas de cultivo. Soportan una fertilización fuerte con un mínimo de acame y además tienen glumas que son más resistentes al desgrane y por lo tanto mejor adaptadas a la cosecha con combinada. Las investigaciones sobre suelos han dado por resultado recomendaciones de fertilización para cada uno de los tipos mayores de suelos. Los experimentos sobre prácticas culturales han dado por resultado métodos mejorados de preparación de suelos, densidades y fechas de siembra y prácticas de riego adecuadas. El resultado de estas investigaciones y la aceptación entusiasta por parte de los

agricultores, ha hecho que México se baste a sí mismo en la producción de trigo.

La producción potencial de trigo puede ser suficiente para las necesidades domésticas de México durante los próximos 15 o 20 años, si se controlan las enfermedades. Por ejemplo, este año Sinaloa tiene sembradas 45,000 hectáreas de trigo donde hace cuatro años no existía este cultivo. Durante 1957 esta zona aumentará a 100,000 hectáreas, y, si fuera necesario, puede aumentarse a 200,000 hectáreas en los próximos cuatro años. Este cultivo también se adapta al valle del Bajo Río Bravo (Río Grande) y en caso necesario puede cultivarse en forma comercial.

Durante los últimos cinco años han aumentado potencialmente los peligros de epidemias debidos a la roya del tallo. Estos nuevos peligros han sido causados por: 1) La introducción del cultivo del trigo a zonas de mayor humedad, tales como Sinaloa, que son más favorables para el desarrollo de epidemias de royas del tallo, que aquellas zonas donde anteriormente se sembraba este cereal; 2) una mayor concentración (intensificación) de la producción comercial de trigo en ciertas zonas geográficas (Sonora y Sinaloa) que automáticamente contribuyen al peligro de epidemias de roya cuando las condiciones climatológicas son favorables y cuando las variedades son susceptibles; y 3) el desarrollo de una condición "micro-climática" mucho más favorable para el desarrollo de la roya alrededor de las plantas en los campos, cultivadas a medida que las prácticas culturales han sido mejoradas. Las plantas de los campos fuertemente fertilizados donde el crecimiento es alto y succulento y se obtienen rendimientos de 40 a 60 bushels por acre, permanecen húmedas con rocío hasta entrada la tarde, en tanto que bajo las condiciones de escasa población y poco desarrollo vegetativo por falta de nitrógeno y riego, el rocío generalmente se seca antes de las 10 de la mañana.

A pesar de que han aumentado grandemente los riesgos de pérdidas debidas a la roya del tallo, durante los últimos seis años no han ocurrido pérdidas en gran escala debido a esa enfermedad. Aun cuando no han ocurrido pérdidas serias en este período, en dos ocasiones el cultivo se mostró desconcertantemente vulnerable a pérdidas debidas a cambios en población de razas de roya. Las variedades Yaqui 48, Chapingo 48, Gabo, Kentana 48 y Lerma 50 fueron resistentes a todas las razas prevalentes de roya del tallo (17, 19, 38, 56 y 59) cuando fueron distribuidas. Sin embargo, la protección ofrecida contra la roya del tallo fue de muy poca duración.

La raza 15B de la roya del tallo hizo su aparición en México por primera vez en marzo de 1951, aparentemente como resultado de inóculo introducido por corrientes de aire del norte durante el otoño de 1950. Aumentó rápidamente y llegó a ser la raza más prevalente en la Costa del Pacífico, en 1952. Este desarrollo hizo peligroso el cultivo de las variedades Yaqui 48 y Chapingo 48 (ambas con resistencia de tipos Hope) y Gabo (con resistencia al tipo *T. turgidum*), puesto que las tres variedades citadas se mostraron muy susceptibles a esta raza. Asimismo un grupo de razas estrechamente relacionadas, 29, 48, 49 y 139

hicieron su aparición y empezaron a crecer rápidamente en la parte central de México durante 1952 y 1953. Este grupo de razas mostró gran patogenicidad en las variedades Kentana 48 y Lerma 50. Estas dos variedades mostraron resistencia a la roya del tallo, tipo Kenya 324, y por lo tanto mostraron resistencia a la raza 15B.

La multiplicación y rápida distribución de nuevas variedades, combinando la resistencia a las razas viejas y a la raza 15B, así como a las razas 29, 48, 49 y 139, se efectuó durante 1952, 1953 y 1954. A través de este programa las variedades Chapingo 52, Chapingo 53, Lerma Rojo, Gabo 54, Sinaloa 53, Mayo 54 y Yaqui 53 fueron distribuidas y cultivadas ampliamente, y han proporcionado protección al cultivo comercial de trigo en años recientes. No es predecible, sin embargo, la duración de esta resistencia.

Aunque la multiplicación y distribución rápida de las nuevas variedades con resistencia a las nuevas razas de roya del tallo proporcionaron la protección necesaria contra las pérdidas por la roya, hay muchos aspectos indeseables asociados con los cambios precipitados de las nuevas variedades. Los agricultores se muestran reacios a cambiar el cultivo de una variedad vieja ya conocida a una variedad nueva desconocida. Esta actitud se basa en su pleno conocimiento de la variedad vieja, que les permite utilizar sus posibilidades de rendimiento máximo. Conocen las mejores densidades y fechas de siembra en relación a sus condiciones locales. Conocen la cantidad de fertilizante, número y tiempo de riegos que pueden aplicarse sin riesgo alguno de acame. Al introducir una variedad nueva muchas de estas consideraciones han de volver a tomarse en cuenta antes del uso de la misma, de tal manera que alcance su productividad máxima. Asimismo la industria molinera a menudo se opone a estos cambios de variedades, a menos que sean indispensables, pues ello significa por lo menos algunas modificaciones en la mezcla de las variedades harineras, y complica las operaciones de esa industria.

Una tercera complicación suele presentarse. Cuando la aparición de nuevas razas amenaza un cultivo comercial, el productor a menudo no tiene otra alternativa que empezar la multiplicación de una nueva variedad que posea la resistencia necesaria, pero que puede ser inferior en una o más características agronómicas, a las variedades viejas.

La aparición repentina de nuevas razas del organismo productor de la roya a menudo ocasiona al genetista un problema. Por un lado los agricultores y molineros a menudo se resisten a cambiar variedades, y por otro, un descuido en estos cambios puede ocasionar pérdidas considerables en grandes zonas geográficas.

El método convencional de cruza regresiva es el que más se acerca a la solución del problema. Si se le lleva a cabo debidamente, proporcionará nuevas variedades fenotípicamente semejantes al progenitor recurrente y por lo tanto éstas son bien recibidas por el agricultor y el molinero; sin embargo, deja mucho que desear desde el punto

de vista de cambio en población de razas. Tomando en cuenta los puntos fuertes como los débiles del método convencional de cruza regresiva, la Oficina de Estudios Especiales en 1953 empezó un programa para desarrollar tres "variedades compuestas" o "sintéticas" de trigo. Las tres más importantes variedades comerciales escogidas para utilizarse como progenitores recurrentes de este programa, fueron: Yaqui 50, con tipo de resistencia Newthatch, a la roya del tallo; Gabo, con tipo durum de resistencia, y Kentana 48 con tipo Kenya 324 de resistencia. Un grupo de más de 50 progenitores donantes fueron escogidos para hacer las cruza con cada una de estas variedades comerciales. Los progenitores donantes fueron escogidos basándose en sus reacciones a la roya del tallo en los Viveros Internacionales de la Roya del Trigo, y también sobre los estudios genéticos y patológicos llevados a cabo por muchas instituciones.

Todo el material segregante de estas cruza es manejado por el método de cruza regresiva. Cuando sea posible deben hacerse las cruza regresiva en cada generación sucesiva de  $F_1$ . En todos los casos las plantas  $F_1$  se clasifican por su resistencia a una "raza probadora" en los estados de plántula y adulto, para identificar aquellas que llevan la resistencia deseada. La "raza probadora" 15B es ideal para clasificar compuestos de Yaqui 50 y Gabo, en tanto que la "raza probadora" 29 se emplea para el compuesto Kentana 48. Las pruebas de plántulas de material  $F_1$  se efectúan en el invernadero, después de lo cual las plántulas se trasplantan al campo en dos surcos, uno con las plántulas resistentes y el otro con plántulas susceptibles.

Las reacciones en el estado adulto se obtienen por medio de inoculaciones hipodérmicas hechas en tallos marcados con una etiqueta en cada planta. Las inoculaciones se hacen con la "raza probadora" en tallos en los que no ha emergido la espiga. Las cruza regresiva se continúan tantas veces como sea necesario para recuperar de las poblaciones segregantes, aquellas líneas que sean fenotípicamente semejantes al progenitor recurrente respecto a las principales características agronómicas como por ejemplo altura, madurez, tipo de espiga, tipo de planta, textura, color, tamaño del grano y características de molienda y panificación. El número de cruza regresiva necesarias para obtener líneas fenotípicamente semejantes depende de la similitud o disimilitud de ambos progenitores. Sin embargo, en todos los casos se seleccionan las líneas fenotípicamente deseables, de aquellas poblaciones derivadas del menor número posible de cruza regresiva; en la mayoría de los casos, de la tercera cruza regresiva. Creemos que siguiendo este principio hasta donde sea posible, en algunos casos podemos retener de los progenitores donantes, factores adicionales de resistencia a las enfermedades, que serán de valor en el control de enfermedades de importancia secundaria, tales como las royas de la hoja y lineal.

Una vez que las mejores líneas han sido seleccionadas de las poblaciones segregantes de cada cruza, se les siembra en surcos de 5 metros empleando el progenitor recurrente como variedad testigo. Estas líneas de generaciones avanzadas se clasifican primero por su ma-

durez, altura de planta, y características morfológicas de planta y espiga. Las líneas que son cosechadas se clasifican por sus características de grano. Al mismo tiempo que se siembran las líneas en surcos de 5 metros, plantitas de estas mismas líneas son clasificadas en el invernadero, empleando separadamente por lo menos dos o tres razas de roya del tallo que representen los grupos de razas prevalentes. Las reacciones en el estado adulto contra las mismas razas probadas en el invernadero, se obtienen con el material que se cultiva en surcos de 5 metros, empleando el método de inoculación hipodérmica. Sólo se cosechan aquellas líneas que son fenotípicamente semejantes al progenitor recurrente y que además poseen un factor adicional de resistencia a la roya del tallo. Tales líneas son colocadas después en ensayos de rendimiento y al mismo tiempo clasificadas en cuanto a su resistencia en el estado de plántula y adulto, a todas las razas individuales de roya del tallo que se encuentran presentes en la zona. Para poder efectuar esta fase de la operación será necesario tener inóculo viable de todas las razas de roya del tallo que han sido colectadas en una zona geográfica determinada.

Finalmente, las mejores líneas seleccionadas tomando como base su rendimiento, características agronómicas, reacción a la roya del tallo, y poblaciones de razas de roya, se emplearán para formar una variedad compuesta. Esta variedad compuesta se formará de un mínimo de 8 a 10 líneas fenotípicamente semejantes que difieren genotípicamente en cuanto a su resistencia a la roya del tallo.

La utilidad de las líneas que son incluidas en la formación de la variedad compuesta, estarán gobernadas (por un período de años) por la prevalencia relativa de las diferentes razas de roya del tallo y por el tipo de resistencia de cada línea. Pueden modificarse de tiempo en tiempo las líneas componentes de la variedad compuesta, según lo indique el cambio de población de la roya, eliminando la línea o líneas que permitan el aumento de ciertas razas de roya y substituyéndolas con otras líneas con diferentes tipos de resistencia. La semilla viable de la mejor línea o líneas con un tipo diferente de resistencia a la roya, debe mantenerse en reserva, pudiendo emplearse para modificar la composición de la variedad cuando se requiera.

La efectividad y protección proporcionada por este tipo de variedad, una vez que se le cultiva en grandes zonas comerciales donde el efecto del inóculo acarreado por el viento y producido en otros tipos de resistencia, no sólo dependerá de la verdadera resistencia de las líneas a las diferentes razas de roya, sino también en parte del "mecanismo de escape" de la enfermedad, que funciona más efectivamente en poblaciones genotípicamente no-uniformes, en contraste con las poblaciones genotípicamente semejantes. El aumento en la cantidad total de inóculo se retrasa, especialmente en las primeras generaciones, cuando la roya empieza a multiplicarse en una población genotípicamente diversificada. Este retardo teóricamente permitirá a menudo que aun las líneas susceptibles de las variedades compuestas maduren antes de que ocurra un daño serio. Bajo las condiciones descritas arriba, es muy poco probable que una línea que es susceptible a una raza en la población de la roya sufrirá daños serios debido a que ella no constitu-

ya más de un 10 a 12 $\frac{1}{2}$ % de la población de la variedad compuesta. Este fenómeno es un principio que ha sido usado por muchas sociedades agrícolas antiguas en ambos Hemisferios, para reducir las pérdidas en las cosechas debido a enfermedades, insectos y sequías. El actual sistema propuesto de desarrollar variedades compuestas a través de una modificación del sistema de cruzas regresivas, eliminará las objeciones relativas al uso de una mezcla de genotipos y fenotipos, cosa común en las variedades de las más antiguas sociedades agrícolas.

El uso de variedades compuestas, como queda descrito arriba, probablemente proporcionará por lo menos una protección parcial para el agricultor dondequiera que nuevas razas lleguen a ser prevalentes, hasta que la composición de la variedad compuesta pueda modificarse debido a que es muy poco probable que todos los genotipos del compuesto sean completamente susceptibles a la raza nueva. Tan pronto como aparezca una raza nueva, todas las líneas de la variedad y todas aquellas líneas de reserva deberán clasificarse por su resistencia a la raza nueva. La variedad compuesta puede entonces renovarse con líneas que, bajo las nuevas condiciones, den máxima protección contra la población modificada de razas nuevas.

En caso de aparecer una "super raza" de roya, capaz de atacar todas las fuentes de resistencia, es obvio que este método indicado, así como los demás, está destinado a fracasar. Si no aparece una "super raza", el sistema propuesto proporciona la máxima flexibilidad que puede incorporarse a cualquier sistema de mejoramiento en cultivos de auto-polinización. Es obvio que encontrará su mayor aplicación en aquellos cultivos cuyas enfermedades epidémicas transmitidas por el aire, son de especial importancia, y donde las poblaciones de razas pueden cambiar con rapidez fantástica y producir resultados desastrosos. El grado de refinamiento del sistema variará con cada cultivo y el grado de evolución de las sociedades agrícolas en que se emplea. En países como Estados Unidos y Canadá donde es de especial importancia en los programas de mejoramiento la regularización de la calidad del trigo, este método ciertamente requeriría un número mucho mayor de cruzas regresivas para desarrollar las líneas que tengan las características requeridas, que las que son necesarias actualmente bajo las condiciones prevalentes en México.

Ses. 1 - 4

El Uso de las Mutaciones Inducidas en el Mejoramiento del Trigo Para Obtener Resistencia a la Roya.

Calvin F. Konsak.

El desarrollo de variedades mejoradas resistentes a las enfermedades ha constituido por muchos años una parte principal en el programa de mejoramiento de los cereales en Norte América. Especialmente durante las últimas dos décadas los Fitogenetistas se han visto amenazados por la aparición y rápida distribución de nuevas enfermedades o nuevas formas de viejas enfermedades. Para enfrentarse a esta situa-